



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002040327 A**(43) Date of publication of application: **06.02.02**

(51) Int. Cl.

G02B 19/00
G02B 3/00
G02B 21/08
G03F 7/20
H01L 21/027

(21) Application number: **2000230349**(22) Date of filing: **31.07.00**(71) Applicant: **NIKON CORP**

(72) Inventor: **SHIBUYA MASATO**
TANITSU OSAMU

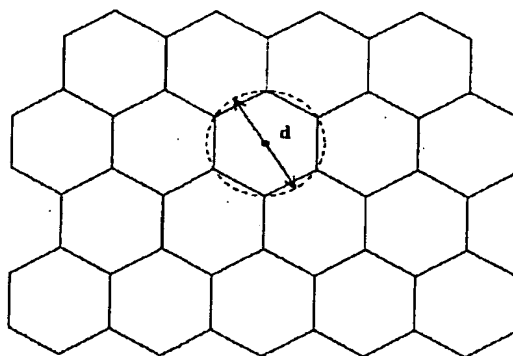
(54) **OPTICAL INTEGRATOR OF WAVEFRONT
 SPLITTING TYPE AND ILLUMINATING OPTICAL
 DEVICE PROVIDED WITH THE OPTICAL
 INTEGRATOR**

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical integrator of wavefront splitting type which enables to obtain a uniform illuminance distribution over almost the whole of illuminated field which is formed even when the sizes of respective micro lenses are made small and the number of wavefront splitting is set in large numbers.

SOLUTION: This optical integrator of wave front splitting type has a large number of micro lenses which are arranged two-dimensionally, wavefront-splits an incident luminous flux and forms a large number of light sources. Each micro lens has a regularly hexagonal incident face which inscribes with a circle of diameter d and a regularly hexagonal emission face which inscribes with the circle of diameter d and, when the focal distance of each micro lens is f and the wavelength of the incident luminous flux is λ , the condition of $(d/2)^2/(\lambda \cdot f) \approx 3.05$ is satisfied.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-40327
(P2002-40327A)

(43) 公開日 平成14年2月6日 (2002.2.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 B 19/00		G 0 2 B 19/00	2 H 0 5 2
3/00		3/00	A 5 F 0 4 6
21/08		21/08	
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 2 7
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-230349(P2000-230349)

(22) 出願日 平成12年7月31日 (2000.7.31)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 渋谷 真人

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 谷津 修

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

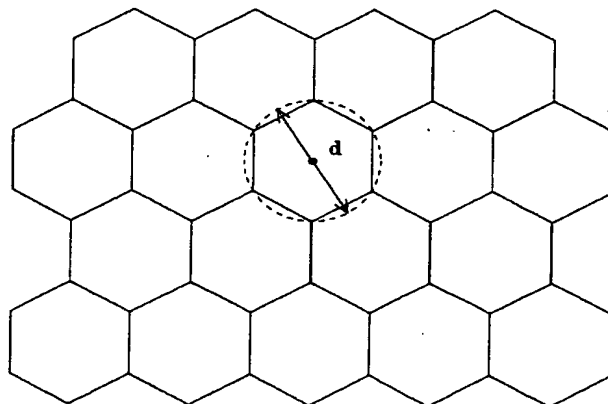
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波面分割型のオプティカルインテグレータおよび該オプティカルインテグレータを備えた照明光学装置

(57) 【要約】

【課題】 各微小レンズのサイズを小さくして波面分割数を大きく設定しても、形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることのできる、波面分割型のオプティカルインテグレータ。

【解決手段】 二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータ。各微小レンズは、直径が d の円に内接する正六角形状の入射面、および直径が d の円に内接する正六角形状の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、入射光束の波長を λ とするとき、 $(d/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$ の条件を満足する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータにおいて、各微小レンズは、矩形状の入射面および矩形状の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、各微小レンズの入射面の一方向の辺の長さを d_1 とし、各微小レンズの入射面の他方の辺の長さを d_2 とし、各微小レンズの射出面において前記入射面の一方向の辺に対応する辺の長さを D_1 とし、各微小レンズの射出面において前記入射面の他方の辺に対応する辺の長さを D_2 とし、前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d_1/2) (D_1/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

$$(d_2/2) (D_2/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件のうちの少なくとも一方を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータ。

【請求項 2】 前記入射面の一方向の辺の長さ d_1 は、前記入射面の他方の辺の長さ d_2 よりも実質的に大きく、

$$(d_1/2) (D_1/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載のオプティカルインテグレータ。

【請求項 3】 二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータにおいて、各微小レンズは、矩形状の入射面、および円形状または正六角形状の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、各微小レンズの入射面の一方向の辺の長さを d_1 とし、各微小レンズの入射面の他方の辺の長さを d_2 とし、各微小レンズの円形状の射出面の直径または正六角形状の射出面に外接する円の直径を D とし、前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d_1/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

$$(d_2/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件のうちの少なくとも一方を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータ。

【請求項 4】 前記入射面の一方向の辺の長さ d_1 は、前記入射面の他方の辺の長さ d_2 よりも実質的に大きく、

$$(d_1/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 3 に記載のオプティカルインテグレータ。

【請求項 5】 二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータにおいて、各微小レンズは、直径が d の円形状または直径が d の円に内接する正六角形状の入射面、および直径が d の円形状または直径が d の円に内接する正六角形状の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータ。

【請求項 6】 光束を供給するための光源手段と、前記光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のオプティカルインテグレータと、前記多数の光源からの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 7】 前記導光光学系は、前記多数の光源からの光束を集光して照野を重畳的に形成するためのコンデンサー光学系と、前記照野からの光束に基づいて前記被照射面に前記照野の像を形成するための結像光学系とを有し、前記結像光学系の光路中において前記多数の光源の形成位置と光学的にほぼ共役な位置には、不要な光束を遮るための開口絞りが設けられていることを特徴とする請求項 6 に記載の照明光学装置。

【請求項 8】 被照射面に配置されたマスク上のパターンの像を感光性基板上に形成する投影光学系を備えた露光装置と組み合わせられる照明光学装置において、光束を供給する光源手段と、

前記光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成すると共に、該多数の光源からの光束が重畳された所定面上の領域である照野を形成する多数光束重畳手段と、前記マスク上または前記マスク近傍に前記照野の像を形成する照明結像光学系とを備え、

前記照明結像光学系は、前記投影光学系の瞳と光学的に共役な位置に配置された開口絞りを有することを特徴とする照明光学装置。

【請求項 9】 請求項 6 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置と、前記被照射面に設定されたマスクのパターンを感光性基板上へ投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波面分割型のオプティカルインテグレータおよび該オプティカルインテグレータを備えた照明光学装置に関し、特にマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置や顕微鏡などに好適な照明光学装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスを製造するための典型的な露光装置においては、光源から射出された光束がマイクロフライアイに入射し、その後側焦点面に多数の光源からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、マイクロフライアイの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレン

ズに入射する。

【0003】コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介して感光性基板上に結像する。こうして、感光性基板上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されるパターンは高集積化されており、この微細パターンを感光性基板上に正確に転写するには感光性基板上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】なお、マイクロフライアイは、稠密に且つ縦横に配列された多数の微小レンズからなる波面分割型のオプティカルインテグレータである。一般に、マイクロフライアイは、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。ここで、マイクロフライアイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、微細パターンを感光性基板上に転写するための露光装置の場合、マスク上および感光性基板上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。したがって、照度むらを低減するために、マイクロフライアイを構成する微小レンズの数を大きくすることが、すなわち波面分割数を大きくすることが望まれている。

【0006】また、エッチングなどでマイクロフライアイを製造する場合には、ガラス板を深くエッチングすることは困難であり、各微小レンズのサイズを小さくするほうが製造し易い。しかしながら、各微小レンズのサイズを単に小さくすると、各微小レンズの入射面に対する回折限界分だけ、その入射面と光学的に共役な被照射面に形成される照野において周辺の照度が低下するという不都合がある。

【0007】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、各微小レンズのサイズを小さくして波面分割数を大きく設定しても、形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることのできる、波面分割型のオプティカルインテグレータおよび該オプティカルインテグレータを備えた照明光学装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータにおいて、各微小レンズは、矩形の入射面および矩形の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、各微小レンズの入射面の一方の辺の長さを d_1 とし、各微小レンズの入射面の他方の辺の長さを d_2 とし、各微

小レンズの射出面において前記入射面の一方の辺に対応する辺の長さを D_1 とし、各微小レンズの射出面において前記入射面の他方の辺に対応する辺の長さを D_2 とし、前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d_1/2) (D_1/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

$$(d_2/2) (D_2/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件のうちの少なくとも一方を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータを提供する。

【0009】第1発明の好ましい態様によれば、前記入射面の一方の辺の長さ d_1 は、前記入射面の他方の辺の長さ d_2 よりも実質的に大きく、

$$(d_1/2) (D_1/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足する。

【0010】本発明の第2発明では、二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータにおいて、各微小レンズは、矩形の入射面、および円形状または正六角形状の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、各微小レンズの入射面の一方の辺の長さを d_1 とし、各微小レンズの入射面の他方の辺の長さを d_2 とし、各微小レンズの円形状の射出面の直径または正六角形状の射出面に外接する円の直径を D とし、前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d_1/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

$$(d_2/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件のうちの少なくとも一方を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータを提供する。

【0011】第2発明の好ましい態様によれば、前記入射面の一方の辺の長さ d_1 は、前記入射面の他方の辺の長さ d_2 よりも実質的に大きく、

$$(d_1/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足する。

【0012】本発明の第3発明では、二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータにおいて、各微小レンズは、直径が d の円形状または直径が d の円に内接する正六角形状の入射面、および直径が d の円形状または直径が d の円に内接する正六角形状の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータを提供する。

【0013】本発明の第4発明では、光束を供給するための光源手段と、前記光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための第1発明～第3発明のオプティカルインテグレータと、前記多数の光源からの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0014】第4発明の好ましい態様によれば、前記導

光光学系は、前記多数の光源からの光束を集光して照野を重畳的に形成するためのコンデンサー光学系と、前記照野からの光束に基づいて前記被照射面に前記照野の像を形成するための結像光学系とを有し、前記結像光学系の光路中において前記多数の光源の形成位置と光学的にほぼ共役な位置には、不要な光束を遮るための開口絞り10が設けられている。

【0015】本発明の第5発明では、被照射面に配置されたマスク上のパターンの像を感光性基板上に形成する投影光学系を備えた露光装置と組み合わせられる照明光学装置において、光束を供給する光源手段と、前記光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成すると共に、該多数の光源からの光束が重畳された所定面上の領域である照野を形成する多数光束重畳手段と、前記マスク上または前記マスク近傍に前記照野の像を形成する照明結像光学系とを備え、前記照明結像光学系は、前記投影光学系の瞳と光学的に共役な位置に配置された開口絞りを有することを特徴とする照明光学装置を提供する。*

$$b = 0.61 \cdot (\lambda / NA) = 0.61 \cdot \lambda / \{ (d/2) / f \} \quad (a)$$

【0018】被照射面に形成される照野のほぼ全体に亘る均一な照度分布を得るためには、上述の幅bが入射面の条件式(b)が満足されることが望ましい。

$$0.61 \cdot \{ \lambda / (d/2) / f \} \leq d/10 \quad (b)$$

条件式(b)を変形すると、次の条件式(1)に示す関係が得られる。

$$(d/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (1)$$

【0019】また、照野のほぼ全体に亘ってさらに均一★

$$0.61 \cdot \{ \lambda / (d/2) / f \} \leq d/100 \quad (c)$$

条件式(c)を変形すると、次の条件式(1')に示す関係が得られる。

$$(d/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (1')$$

以上、オプティカルインテグレータの入射面および射出面がともに同じ大きさの正六角形状の場合について説明したが、入射面および射出面がともに同じ大きさの円形状の場合も同様である。

【0020】次に、図2に示すように、オプティカルインテグレータを構成する各微小レンズの入射面が矩形状に形成され且つその射出面が正六角形状に形成されている場合について考える。この場合、矩形状の入射面の長辺の長さをd1とし、矩形状の入射面の短辺の長さをd☆

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (D/2) / f \} \leq d1/10 \quad (e)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (D/2) / f \} \leq d2/10 \quad (f)$$

【0022】条件式(e)および(f)を変形すると、次の条件式(2)および(3)に示す関係が得られる。

$$(d1/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (2)$$

$$(d2/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (3)$$

【0023】また、照野のほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得るためには、上述の幅bが入射面の長辺方向のサイズd1の1/100よりも小さいか、あるいは短辺方向のサイズd2の1/100よりも小さいか、あるい◆

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (D/2) / f \} \leq d1/100 \quad (g)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (D/2) / f \} \leq d2/100 \quad (h)$$

【0024】条件式(g)および(h)を変形すると、50 次の条件式(2')および(3')に示す関係が得られ

*【0016】本発明の第6発明では、第4発明または第5発明の照明光学装置と、前記被照射面に設定されたマスクのパターンを感光性基板上へ投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0017】

【発明の実施の形態】まず、図1に示すように、オプティカルインテグレータを構成する各微小レンズの入射面および射出面がともに同じ大きさの正六角形状に形成されている場合について考える。この場合、各微小レンズの入射面に対する回折限界分だけ、入射面と光学的に共役な被照射面に形成される照野において周辺の照度が低下する。正六角形状の入射面および射出面に外接する円の直径をdとし、各微小レンズの開口数をNAとし、各微小レンズの焦点距離をfとし、入射光束の波長をλとすると、回折限界に起因する照度の低下に寄与する入射面上の周辺部分の幅bは、次の式(a)で表される。

★な照度分布を得るためには、上述の幅bが入射面のサイズdの1/100よりも小さいこと、すなわち次の条件式(c)が満足されることがさらに望ましい。

☆2とし、正六角形状の射出面に外接する円の直径をDとし、各微小レンズの開口数をNAとし、各微小レンズの焦点距離をfとし、入射光束の波長をλとすると、回折限界に起因する照度の低下に寄与する入射面上の周辺部分の幅bは、次の式(d)で表される。

$$b = 0.61 \cdot \lambda / \{ (D/2) / f \} \quad (d)$$

【0021】被照射面に形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得るためには、上述の幅bが入射面の長辺方向のサイズd1の1/10よりも小さいか、あるいは短辺方向のサイズd2の1/10よりも小さいこと、すなわち次の条件式(e)または(f)が満足されることが望ましい。

◆は短辺方向のサイズd2の1/100よりも小さいこと、すなわち次の条件式(g)または(h)が満足されることがさらに望ましい。

る。

$$(d1/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (2')$$

$$(d2/2) (D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (3')$$

【0025】なお、射出面が完全な正六角形の場合、矩形形状の入射面の長辺の長さd1と短辺の長さd2との比*

$$d1 : d2 = 3 : \sqrt{3} \quad \text{または} \quad 1.5 : \sqrt{3} \quad (i)$$

ここで、 $\sqrt{3}$ は、3の平方根を表している。ところで、オブティカルインテグレータの入射面の形状は、被照射面上に形成すべき照明領域(照野)の形状と相似に設定する必要がある。したがって、実際には、入射面が所要の矩形に設定され、その入射面の形状に合わせて射出面の形状が正六角形に近い六角形状に設定されることになる。以上、オブティカルインテグレータの射出面が正六角形状の場合について説明したが、射出面が円形状の場合も同様である。なお、オブティカルインテグレータの射出面は、光源形状と相似の形状であることが好ましく、ランプ光源の場合は略円形状や正六角形状が有効である。

【0026】次に、図3に示すように、オブティカルインテグレータを構成する各微小レンズの入射面および射出面がともに矩形に形成されている場合について考える。この場合、矩形形状の入射面の長辺の長さをd1とし、矩形形状の入射面の短辺の長さをd2とし、矩形形状の※

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (D1/2) / f \} \leq d1/10 \quad (m)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (D2/2) / f \} \leq d2/10 \quad (n)$$

【0028】条件式(m)および(n)を変形すると、

$$(d1/2) (D1/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (4)$$

$$(d2/2) (D2/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (5)$$

【0029】また、照野のほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得るためには、上述の幅b1が入射面の長辺方向のサイズd1の1/100よりも小さいか、ある★

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (D1/2) / f \} \leq d1/100 \quad (p)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (D2/2) / f \} \leq d2/100 \quad (q)$$

【0030】条件式(p)および(q)を変形すると、

次の条件式(4')および(5')に示す関係が得られ☆

$$(d1/2) (D1/2) / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (4')$$

$$(d2/2) (D2/2) / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (5')$$

【0031】最後に、図4に示すように、オブティカルインテグレータを構成する各微小レンズの各微小レンズの入射面および射出面がともに同じ大きさの矩形に形成されている場合について考える。この場合、矩形形状の入射面および射出面の長辺の長さをd1とし、矩形形状の入射面および射出面の短辺の長さをd2とし、各微小レンズの開口数をNAとし、各微小レンズの焦点距離をfとし、入射光束の波長をλとすると、回折限界に起因する照度の低下に寄与する入射面上の周辺部分の長辺方◆

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (d1/2) / f \} \leq d1/10 \quad (s)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (d2/2) / f \} \leq d2/10 \quad (t)$$

【0033】条件式(s)および(t)を変形すると、

次の条件式(6)および(7)に示す関係が得られる。

*は、次の式(i)に示す関係を満たす必要がある。

※射出面において入射面の長辺方向に対応する方向に沿った長さをD1とし、矩形形状の射出面において入射面の短辺方向に対応する方向に沿った長さをD2とし、各微小レンズの開口数をNAとし、各微小レンズの焦点距離をfとし、入射光束の波長をλとすると、回折限界に起因する照度の低下に寄与する入射面上の周辺部分の長辺方向に沿った幅b1および短辺方向に沿った幅b2は、次の式(j)および(k)で表される。

$$b1 = 0.61 \cdot \lambda / \{ (D1/2) / f \} \quad (j)$$

$$b2 = 0.61 \cdot \lambda / \{ (D2/2) / f \} \quad (k)$$

【0027】被照射面に形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得るためには、上述の幅b1が入射面の長辺方向のサイズd1の1/10よりも小さいか、あるいは上述の幅b2が入射面の短辺方向のサイズd2の1/10よりも小さいこと、すなわち次の条件式(m)または(n)が満足されることが望ましい。

次の条件式(4)および(5)に示す関係が得られる。

★いは上述の幅b2が入射面の短辺方向のサイズd2の1/100よりも小さいこと、すなわち次の条件式(p)または(q)が満足されることがさらに望ましい。

☆る。

◆向に沿った幅bは、次の式(r)で表される。

$$b = 0.61 \cdot \lambda / \{ (d1/2) / f \} \quad (r)$$

【0032】被照射面に形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得るためには、上述の幅bが入射面の長辺方向のサイズd1の1/10よりも小さいか、あるいは短辺方向のサイズd2の1/10よりも小さいこと、すなわち次の条件式(s)または(t)が満足されることが望ましい。

$$(d1/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (6)$$

$$(d2/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (7)$$

【0034】また、照野のほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得るためには、上述の幅 b が入射面の長辺方向のサイズ d_1 の $1/100$ よりも小さいか、あるいは*

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (d_1/2) / f \} \leq d_1 / 100 \quad (u)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{ (d_2/2) / f \} \leq d_2 / 100 \quad (v)$$

【0035】条件式 (u) および (v) を変形すると、次の条件式 (6') および (7') に示す関係が得られる。

$$(d_1/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (6')$$

$$(d_2/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (7')$$

【0036】本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図5は、本発明の第1実施形態にかかる照明光学装置の構成を概略的に示す図である。図6は、図5の照明光学装置を備えた落射照明型の顕微鏡の構成を概略的に示す図である。図7は、図5の照明光学装置を備えた透過照明型の顕微鏡の構成を概略的に示す図である。第1実施形態では、顕微鏡の照明光学装置に本発明を適用している。

【0037】図5を参照すると、第1実施形態の照明光学装置は、照明光を供給するための光源として、たとえばハロゲンランプ10を備えている。ハロゲンランプ10からの光束は、コリメートレンズ11を介してほぼ平行光束となり、波面分割型のオプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイ12に入射する。マイクロフライアイ12は、図1および図5に示すように、縦横に稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子であって、各微小レンズの入射面および射出面はともに同じ大きさの正六角形状（サイズ d ）に形成されている。マイクロフライアイ12は、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成されている。

【0038】したがって、マイクロフライアイ12に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面には多数の光源からなる実質的な面光源（以下「二次光源」という）が形成される。マイクロフライアイ12の後側焦点面に形成された二次光源からの光束は、その近傍に配置された開口絞り13によって制限された後、コンデンサーレンズ14を介して集光され、その後側焦点面に照野を形成する。この照野の形成位置（すなわちコンデンサーレンズ14の後側焦点面）には、視野絞り15が配置されている。このように、コリメートレンズ11、マイクロフライアイ12およびコンデンサーレンズ14は、光源10からの光束に基づいて多数の光源を形成すると共に、この多数の光源からの光束が重畳された所定面上の領域である照野を形成する多数光束重畳手段を構成している。

【0039】視野絞り15を通過した照野からの光束は、結像光学系16を介して、観察すべき物体面（試料面）17を照明する。ここで、視野絞り15と、被照射面としての物体面17とは、結像光学系16を介して光

*は短辺方向のサイズ d_2 の $1/100$ よりも小さいこと、すなわち次の条件式 (u) または (v) が満足されることがさらに望ましい。

学的に共役に配置されている。したがって、物体面17上には、視野絞り15の開口部の像（すなわち照野の像）としての照明領域が形成される。なお、結像光学系16の瞳面の近傍には、フレアーなどの原因となる不要光を遮るための開口絞り18が配置されている。ここで、開口絞り13および18のうちのいずれか一方が配置されていれば、照明光学装置の基本的性能は満足されるが、フレアーの発生などを良好に抑えるには双方の開口絞り13および18を配置することが望ましい。また、開口絞り13および18は、可変開口部を有することが好ましい。

【0040】図6を参照すると、第1実施形態の照明光学装置が組み込まれた落射照明型の顕微鏡では、視野絞り15の位置に形成された照野からの光束が、結像光学系16の前方レンズ群16aを介して、ビームスプリッター61に入射する。ビームスプリッター61で反射された光束は、結像光学系16の後方レンズ群16bを介して物体面を落射照明する。物体面からの反射光は、第1対物レンズ62（すなわち結像光学系16の後方レンズ群16b）を介して、ビームスプリッター61に入射する。ビームスプリッター61を透過した光は、第2対物レンズ63を介して観察物体像64を形成する。この観察物体像64は、接眼レンズ65を介して拡大観察される。

【0041】一方、図7を参照すると、第1実施形態の照明光学装置が組み込まれた透過照明型の顕微鏡では、視野絞り15の位置に形成された照野からの光束が、結像光学系16を介して、物体面を下方から照明する。物体面を透過した光は、第1対物レンズ62および第2対物レンズ63を介して、観察物体像64を形成する。この観察物体像64は、接眼レンズ65を介して拡大観察される。なお、図6および図7において、開口絞り18の図示を省略している。

【0042】第1実施形態では、マイクロフライアイ12が、上述の条件式 (1) を満足するように構成されている。したがって、視野絞り15の位置に形成される照野において、ひいては被照射面である物体面17に形成される照明領域（照野）において、照度が低下する周辺部分の幅を小さく抑え、そのほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることができる。また、マイクロフライアイ12が条件式 (1') を満足するように構成すれば、照度が低下する周辺部分の幅をさらに小さく抑え、そのほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得ることができる。

【0043】図8は、本発明の第2実施形態にかかる照

明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第2実施形態では、光源として超高压水銀ランプを用いて液晶表示素子を製造するための露光装置に本発明を適用している。図8を参照すると、第2実施形態の装置は、たとえばi線の輝線を含む光を供給する超高压水銀ランプからなる光源20を備えている。光源20は、光軸AXに関して回転対称な楕円反射面を有する楕円鏡21の第1焦点位置に位置決めされている。したがって、光源20から射出された照明光束は、楕円鏡21の第2焦点位置に光源像を形成する。

【0044】楕円鏡2の第2焦点位置に形成された光源像からの発散光束は、コリメートレンズ22によりほぼ平行光束に変換された後、波長選択フィルター（不図示）を介して、波面分割型のオプティカルインテグレート23に入射する。波長選択フィルターでは、i線の光（365nm）だけが露光光として選択される。なお、波長選択フィルターでは、たとえばg線（436nm）の光とh線（405nm）とi線の光とを同時に選択することもできるし、g線の光とh線の光とを同時に選択することもできるし、h線の光とi線の光とを同時に選択することもできる。

【0045】オプティカルインテグレート23では、図8に示すように、入射側の第1微小レンズ群23aと射出側の第2微小レンズ群23bとの間に所定の厚さを有する平行平板23cを介在させて、これらを一体的に構成している。ここで、入射側の第1微小レンズ群23aは、図2(a)に示すように、縦横に稠密に配列された多数の矩形形状(d1×d2)の正屈折力を有する微小レンズからなる。また、射出側の第2微小レンズ群23bは、図2(b)に示すように、縦横に稠密に配列された多数の正六角形状(サイズD)の正屈折力を有する微小レンズからなる。そして、入射側の第1微小レンズ群23aと射出側の第2微小レンズ群23bとは、対応する各微小レンズの光軸が厳密に一致するように、たとえばモールド法により形成されている。

【0046】この場合、オプティカルインテグレート23を構成する微小レンズは、入射側の第1微小レンズ群23aのうちの1つの第1微小レンズと、射出側の第2微小レンズ群23bのうち当該第1微小レンズに対応する1つの第2微小レンズとからなる。そして、オプティカルインテグレート23を構成する微小レンズの焦点距離は、上述の第1微小レンズと第2微小レンズとの合成焦点距離である。なお、入射側の第1微小レンズ群23aと射出側の第2微小レンズ群23bとの間に所定の厚さを有する平行平板23cを介在させて、これらを接着剤などで接合することもできる。オプティカルインテグレート23のさらに詳細な構成については、特開平8-31736号公報の開示（たとえば図6および図7など）を参照することができる。

【0047】こうして、オプティカルインテグレート2

3の後側焦点面には、多数の光源からなる二次光源が形成される。二次光源からの光束は、オプティカルインテグレート23の後側焦点面の近傍に配置された開口絞り24により制限された後、コンデンサーレンズ25に入射する。なお、開口絞り24は、後述する投影光学系PLの入射瞳面と光学的に共役な位置（照明瞳の位置）に配置され、照明に寄与する二次光源の範囲を規定するための開口部を有する。また、開口絞り24は、コンデンサーレンズ25の前側焦点面に配置されている。

10 【0048】したがって、コンデンサーレンズ25を介して集光された光束は、後述するマスクMの照明領域（照明視野）を規定するための照明視野絞り26を重畳的に照明する。照明視野絞り26の矩形形状の開口部を通過した光束は、結像光学系27を介して、所定の転写パターンが形成されたマスクMを重畳的に照明する。こうして、マスクM上には、照明視野絞り26の開口部の像、すなわちオプティカルインテグレート23の第1微小レンズの断面形状に相似な矩形形状の照明領域が形成される。なお、結像光学系27の瞳面（投影光学系PLの入射瞳面と光学的に共役な位置）の近傍には、フレアーなどの原因となる不要光を遮るための開口絞り28が配置されている。

【0049】マスクMは、マスク面に沿って二次元的に移動可能なマスクステージ（不図示）上に保持されている。マスクステージの位置座標は、干渉計（不図示）によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるプレートP上にマスクパターンの像を形成する。プレートPは、プレート面に沿って二次元的に移動可能なプレートステージ（不図示）上に保持されている。プレートステージの位置座標は、干渉計（不図示）によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

30 【0050】こうして、投影光学系PLの光軸と直交する平面内においてプレートPを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、プレートPの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、プレートPの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、オプティカルインテグレート23の矩形形状の入射面の短辺方向（すなわちマスクM上に形成される矩形形状の照明領域の短辺方向）に光学的に対応する方向（スキャン方向）に沿って、マスクMおよびプレートPを投影光学系PLに対して相対移動させながらスキャン露光を行うことにより、プレートPの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

40 【0051】第2実施形態では、オプティカルインテグレート23が、上述の条件式(2)および(3)のうち

少なくとも一方の条件式を満足するように構成されている。したがって、被照射面であるマスクM上に、ひいてはプレートP上に形成される照明領域（露光領域）において、照度が低下する周辺部分の幅を小さく抑え、そのほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることができる。また、オプティカルインテグレート23が条件式（2'）および（3'）のうち少なくとも一方の条件式を満足するように構成すれば、照度が低下する周辺部分の幅をさらに小さく抑え、そのほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得ることができる。

【0052】ところで、第2実施形態においてスキャン露光を行う場合、スキャン方向（オプティカルインテグレート23の矩形形状の入射面の短辺方向に光学的に対応する方向）に沿った照度分布はスキャン露光的作用により平滑化されるので、2つの条件式（2）および（3）のうちオプティカルインテグレート23の矩形形状の入射面の長辺方向に沿った条件式（2）を満足することが好ましい。同様に、第2実施形態においてスキャン露光を行う場合、条件式（2'）を満足することがさらに好ましい。

【0053】なお、第2実施形態では、入射側の第1微小レンズ群23aが多数の矩形形状の微小レンズからなり、射出側の第2微小レンズ群23bが多数の正六角形状の微小レンズから構成されている。しかしながら、図3に示すように、入射側の第1微小レンズ群23aを多数の矩形形状（ $d1 \times d2$ ）の微小レンズで構成するとともに射出側の第2微小レンズ群23bを多数の矩形形状（ $D1 \times D2$ ）の微小レンズで構成する変形例も可能である。この変形例の場合、上述の条件式（4）および（5）のうち少なくとも一方の条件式を満足することが好ましく、上述の条件式（4'）および（5'）のうち少なくとも一方の条件式を満足することがさらに好ましい。そして、変形例においてスキャン露光を行う場合、矩形形状の入射面の長辺方向に沿った条件式（4）を満足することが好ましく、条件式（4'）を満足することがさらに好ましい。

【0054】図9は、本発明の第3実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第3実施形態では、エキシマレーザー光源を用いて半導体素子を製造するための露光装置に本発明を適用している。図9を参照すると、第3実施形態の装置は、露光光（照明光）を供給するための光源30として、たとえば248nm（KrF）または193nm（ArF）の波長の光を供給するエキシマレーザー光源を備えている。光源30から射出されたほぼ平行光束は、ビームエキスパンダー（不図示）を介して所定の矩形形状の断面を有する光束に整形された後、マイクロフライアイ31に入射する。

【0055】マイクロフライアイ31は、縦横に稠密に配列された多数の正屈折力を有する正形状の微小レン

ズから構成されている。こうして、マイクロフライアイ31の後側焦点面には多数の光源が形成される。マイクロフライアイ31の後側焦点面に形成された多数の光源からの光束は、第1コンデンサーレンズ32を介して、波面分割型のオプティカルインテグレート33に入射する。オプティカルインテグレート33は、図9に示すように、入射側に配置された第1マイクロフライアイ33aと射出側に配置された第2マイクロフライアイ33bとから構成されている。

【0056】ここで、入射側の第1マイクロフライアイ33aおよび射出側の第2マイクロフライアイ33bは、図4に示すように、縦横に稠密に配列された多数の矩形形状の正屈折力を有する微小レンズからなる。そして、入射側の第1マイクロフライアイ33aを構成する第1微小レンズと、射出側の第2マイクロフライアイ33bを構成する第2微小レンズとは、同じ大きさの矩形形状（ $d1 \times d2$ ）に形成されている。さらに、各第1微小レンズの光軸と、対応する各第2微小レンズの光軸とが厳密に一致するように、第1マイクロフライアイ33aと第2マイクロフライアイ33bとが位置合わせされている。

【0057】この場合、オプティカルインテグレート33を構成する微小レンズは、入射側の第1マイクロフライアイ33aを構成する第1微小レンズと、射出側の第2マイクロフライアイ33bを構成する第2微小レンズとからなる。そして、オプティカルインテグレート33を構成する微小レンズの焦点距離は、上述の第1微小レンズと第2微小レンズとの合成焦点距離である。なお、オプティカルインテグレート33の入射側および射出側にカバーガラスを配置することが好ましい。また、第1マイクロフライアイ33aを構成する第1微小レンズと、第2マイクロフライアイ33bを構成する第2微小レンズとの曲率半径を若干異ならせて、オプティカルインテグレート33を構成する微小レンズの前側焦点位置を第1マイクロフライアイ33aの入射面と一致させ、且つ後側焦点位置を第2マイクロフライアイ33bの射出側空間となるように構成しても良い。この場合には、光量的な観点および耐レーザ性の観点で利点がある。

【0058】こうして、オプティカルインテグレート33の後側焦点面には、多数の光源からなる二次光源が形成される。二次光源からの光束は、オプティカルインテグレート33の後側焦点面の近傍に配置された開口絞り34により制限された後、第2コンデンサーレンズ35に入射する。第2コンデンサーレンズ35を介して集光された光束は、照明視野絞り36の矩形形状の開口部を通過し、結像光学系37を介してマスクMを重畳的に照明する。こうして、マスクM上には、オプティカルインテグレート33の各微小レンズの断面形状に相似な矩形形状の照明領域が形成される。結像光学系37の瞳面の近傍には、フレアーなどの原因となる不要光を遮るための開

口絞り 38 が配置されている。

【0059】マスク M は、マスク面に沿って二次元的に移動可能なマスクステージ（不図示）上に保持されている。マスクステージの位置座標は、干渉計（不図示）によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。マスク M のパターンを透過した光束は、投影光学系 PL を介して、感光性基板であるウェハ W 上にマスクパターンの像を形成する。ウェハ W は、ウェハ面に沿って二次元的に移動可能なウェハステージ（不図示）上に保持されている。ウェハステージの位置座標は、干渉計（不図示）によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0060】こうして、投影光学系 PL の光軸と直交する平面内においてウェハ W を二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハ W の各露光領域にはマスク M のパターンが逐次露光される。一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リビート方式にしたがって、ウェハ W の各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、オブティカルインテグレート 33 の矩形状の入射面の短辺方向に光学的に対応する方向（スキャン方向）に沿って、マスク M およびウェハ W を投影光学系 PL に対して相対移動させながらスキャン露光を行うことにより、ウェハ W の各露光領域にはマスク M のパターンが逐次露光される。

【0061】第 3 実施形態では、オブティカルインテグレート 33 が、上述の条件式（6）および（7）のうち少なくとも一方の条件式を満足するように構成されている。したがって、被照射面であるマスク M 上に、ひいてはウェハ W 上に形成される照明領域（露光領域）において、照度が低下する周辺部分の幅を小さく抑え、そのほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることができる。また、オブティカルインテグレート 33 が条件式（6'）および（7'）のうち少なくとも一方の条件式を満足するように構成すれば、照度が低下する周辺部分の幅をさらに小さく抑え、そのほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得ることができる。

【0062】ところで、第 3 実施形態においてスキャン露光を行う場合、スキャン方向（オブティカルインテグレート 33 の矩形状の入射面の短辺方向に光学的に対応する方向）に沿った照度分布はスキャン露光の作用により平滑化されるので、2 つの条件式（6）および（7）のうちオブティカルインテグレート 23 の矩形状の入射面の長辺方向に沿った条件式（6）を満足することが好ましい。同様に、第 3 実施形態においてスキャン露光を行う場合、条件式（6'）を満足することがさらに好ましい。

【0063】ところで、第 3 実施形態のようにパルス発振光源を用いたスキャン露光の場合、オブティカルイン

テグレート 33 における任意の 2 つの隣接する微小レンズの照明光間の位相差がパルスごとにランダムに変わることが望ましい。図 10 に示すように、入射光束の開口数を NA2 とし、微小レンズのスキャン方向に沿ったサイズを d2 とすると、入射面でのコヒーレンス領域は $\lambda / \text{NA}2$ であるため、 $d2 / (\lambda / \text{NA}2)$ 個だけ異なる位相差の組で照明される。少なくともこの組が 10 個以上であること、すなわち次の条件式（8）を満足することが必要である。さらに、条件式（8）の下限値がパルス数（通常は 30～50）以上であることがさらに望ましい。

$$10 < d2 / (\lambda / \text{NA}2) \quad (8)$$

【0064】なお、上述の各実施形態では、顕微鏡や露光装置の照明光学装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な照明光学装置にも本発明を適用することができる。

【0065】また、上述の第 2 実施形態および第 3 実施形態では、コンデンサーレンズ 25 および 35 の後側焦点面に形成される照野において照度が低下している周辺部分からの光束を開口絞り 24 および 34 で遮ってもよいし遮らなくてもよい。周辺部分からの光束を遮る場合、本発明にしたがって照度が低下する周辺部分の幅が小さく抑えられているので、開口絞り 24 および 34 における光量損失を小さく抑えることができる。

【0066】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のオブティカルインテグレートでは、各微小レンズのサイズを小さくして波面分割数を大きく設定しても、形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることができる。したがって、本発明のオブティカルインテグレートを組み込んだ照明光学装置では、ほぼ全体に亘って均一な照度分布で被照射面を照明することができる。さらに、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、ほぼ全体に亘って均一な照度分布でマスクを照明し、マスクの微細なパターンを良好に転写することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】オブティカルインテグレートにおいて各微小レンズの入射面および射出面がともに同じ大きさの正六角形状に形成されている様子を示す図である。

【図 2】オブティカルインテグレートにおいて各微小レンズの入射面が矩形状に形成され且つその射出面が正六角形状に形成されている様子を示す図である。

【図 3】オブティカルインテグレートにおいて各微小レンズの入射面および射出面がともに矩形状に形成されている様子を示す図である。

【図 4】オブティカルインテグレートにおいて各微小レンズの各微小レンズの入射面および射出面がともに同じ大きさの矩形状に形成されている様子を示す図である。

【図 5】本発明の第 1 実施形態にかかる照明光学装置の構成を概略的に示す図である。

【図6】図5の照明光学装置を備えた落射照明型の顕微鏡の構成を概略的に示す図である。

【図7】図5の照明光学装置を備えた透過照明型の顕微鏡の構成を概略的に示す図である。

【図8】本発明の第2実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

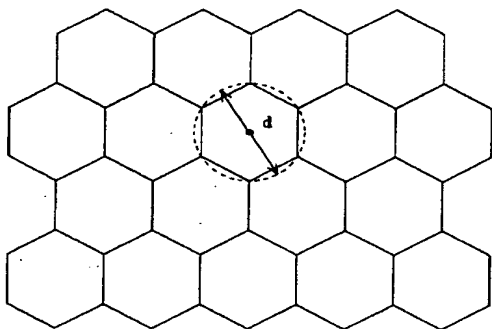
【図9】本発明の第3実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図10】オプティカルインテグレータにおける任意の2つの隣接する微小レンズへの入射光束の開口数および微小レンズのスキャン方向のサイズを示す図である。

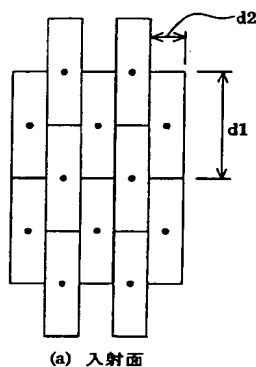
【符号の説明】

- 10, 20, 30 光源
12, 23, 33 オプティカルインテグレータ
13, 24, 34 開口絞り
14, 25, 35 コンデンサーレンズ
15, 26, 36 視野絞り
16, 27, 37 結像光学系
18, 28, 38 開口絞り
M マスク
PL 投影光学系
P プレート
W ウェハ

【図1】

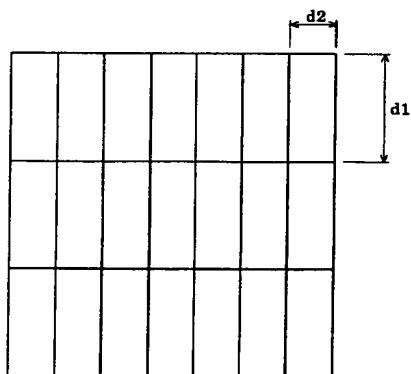


【図2】

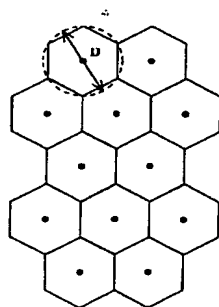


【図3】

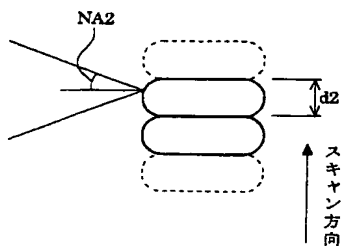
【図4】



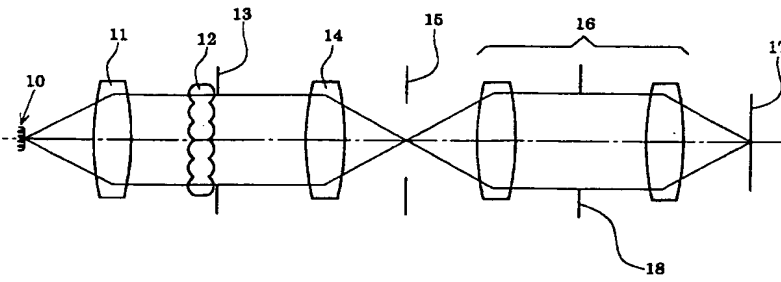
(b) 射出面



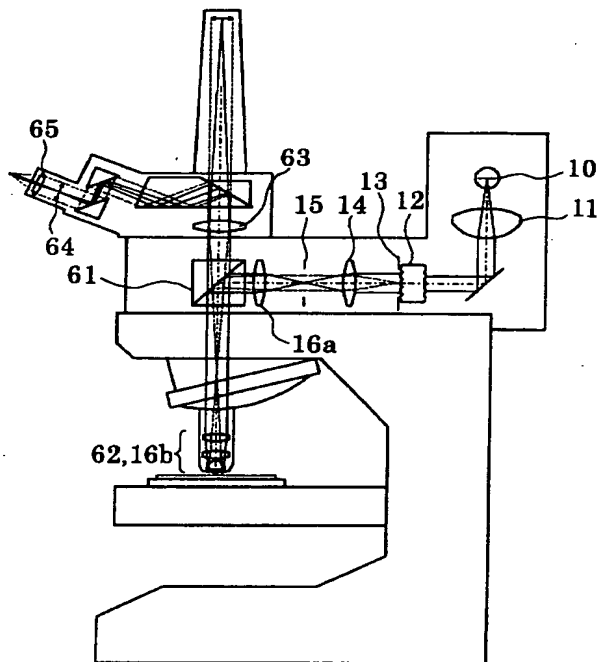
【図10】



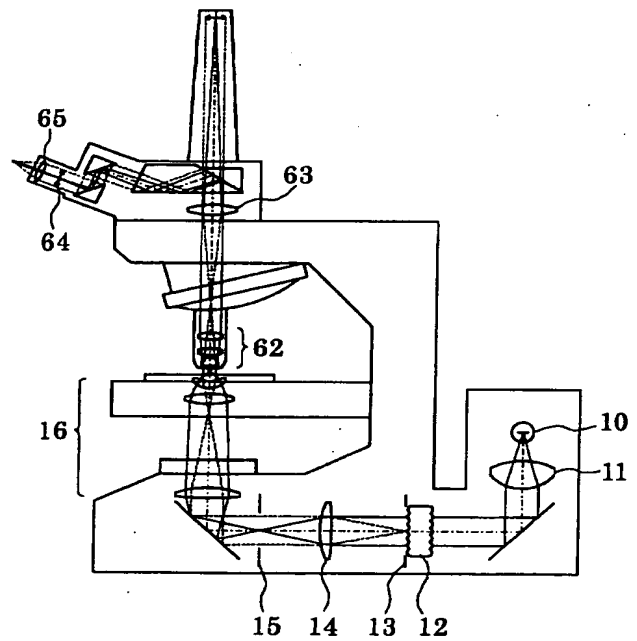
【図5】



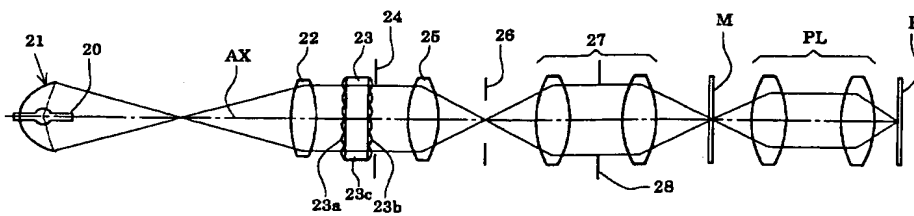
【図6】



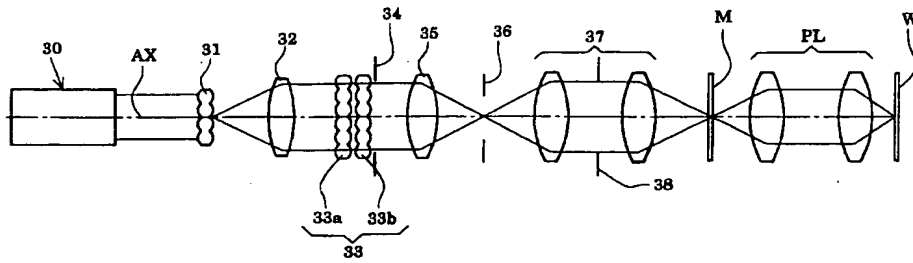
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H052 AC18 BA02 BA03 BA07 BA09
BA12
5F046 BA03 CA02 CB05 CB08 CB12
CB13 CB23